

## Pręt nr 0 - Element żelbetowy wg PN-EN 1992-1-1:2004

### Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 0 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 0 ( $x=-0.120\text{m}$ ,  $y=0.000\text{m}$ ); 2 ( $x=4.000\text{m}$ ,  $y=0.000\text{m}$ )

Profil: Podciąg (C20/25)

### Zbrojenie podłużne (RB500W (A))

Krawędź 1 - 4 $\phi$ 20; od L1=0.00m do L2=4.12m; lbd1=0.90m; lbd2=4.90m

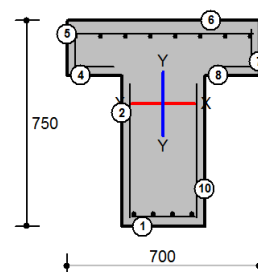
Krawędź 6 - 8 $\phi$ 16; od L1=2.06m do L2=4.12m; lbd1=0.00m; lbd2=5.10m

### Strzemiona (RB500W (A))

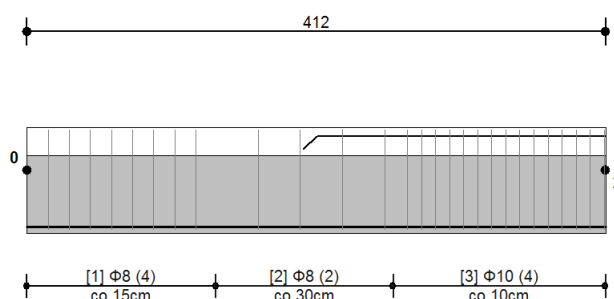
Odcinek 1 od  $x_1/L=0.00$  do  $x_2/L=0.33$ : (Y-Y) 4 $\phi$ 8 (X-X) 2 $\phi$ 6 co 15cm

Odcinek 2 od  $x_1/L=0.33$  do  $x_2/L=0.63$ : (Y-Y) 2 $\phi$ 8 (X-X) 2 $\phi$ 8 co 30cm

Odcinek 3 od  $x_1/L=0.63$  do  $x_2/L=1.00$ : (Y-Y) 4 $\phi$ 10 (X-X) 2 $\phi$ 10 co 10cm



### Widok elementu



### Całkowite wyężenie elementu: 83%

Zbrojenie główne: 75 %

Ścinanie: 83 %

Zbrojenie główne (ściananie): 79 %

Rysy prostopadłe: 66 %

Ugięcia: 10 %

Zbrojenie minimalne: 0 %

Zbrojenie minimalne (rysy): 0 %

Zakotwienie zbrojenia: 0 %

Rozstaw strzemion: 0 %

Zbrojenie min. strzemionami: 0 %

Smukłość: 0 %

## Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiednia	Warunek	Wyłączenie
0	0.000	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
1	0.000	min Mx	Ścinanie	30.6 %
2	0.000	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
3	0.000	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
4	0.000	min Ty	Ścinanie	23.0 %
5	0.000	---	Smukłość	0.0 %
6	0.000	max N	Ścinanie	23.0 %
7	0.000	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
8	0.000	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
9	0.000	max Ty	Ścinanie	43.1 %
10	0.000	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
11	0.000	min N	Ścinanie	43.1 %
12	0.000	max Mx	Ścinanie	23.0 %
13	0.167	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	22.3 %
14	0.167	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	35.8 %
15	0.167	max N_SGU	Rysy prostopadłe	22.3 %
16	0.167	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	25.8 %
17	0.167	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	35.8 %
18	0.167	---	Smukłość	0.0 %
19	0.167	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	35.8 %
20	0.167	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	25.8 %
21	0.167	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	22.3 %
22	0.167	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	69.0 %
23	0.167	min N_SGU	Rysy prostopadłe	25.8 %
24	0.167	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	69.0 %
25	0.167	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	69.0 %
26	0.250	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	34.8 %
27	0.250	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	40.7 %
28	0.250	max N_SGU	Rysy prostopadłe	34.8 %
29	0.250	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	39.8 %
30	0.250	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	40.7 %

31	0.250	---	Smukłość	0.0 %
32	0.250	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	40.7 %
33	0.250	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	39.8 %
34	0.250	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	34.8 %
35	0.250	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
36	0.250	min N_SGU	Rysy prostopadłe	39.8 %
37	0.250	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
38	0.250	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
39	0.333	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	43.8 %
40	0.333	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	44.2 %
41	0.333	max N_SGU	Rysy prostopadłe	43.8 %
42	0.333	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	49.9 %
43	0.333	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	44.2 %
44	0.333	---	Smukłość	0.0 %
45	0.333	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	44.2 %
46	0.333	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	49.9 %
47	0.333	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	43.8 %
48	0.333	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
49	0.333	min N_SGU	Rysy prostopadłe	49.9 %
50	0.333	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
51	0.333	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
52	0.500	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	53.7 %
53	0.500	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	43.1 %
54	0.500	max N_SGU	Rysy prostopadłe	53.7 %
55	0.500	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	53.7 %
56	0.500	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
57	0.500	---	Smukłość	0.0 %
58	0.500	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
59	0.500	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	47.1 %
60	0.500	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	47.1 %
61	0.500	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	43.1 %
62	0.500	min N_SGU	Rysy prostopadłe	47.1 %
63	0.500	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	43.1 %
64	0.500	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
65	0.667	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	33.0 %

66	0.667	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	42.5 %
67	0.667	max N_SGU	Rysy prostopadłe	33.0 %
68	0.667	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	33.0 %
69	0.667	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
70	0.667	---	Smukłość	0.0 %
71	0.667	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
72	0.667	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	28.6 %
73	0.667	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	28.6 %
74	0.667	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	42.5 %
75	0.667	min N_SGU	Rysy prostopadłe	28.6 %
76	0.667	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	42.5 %
77	0.667	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	76.8 %
78	0.750	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
79	0.750	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	35.4 %
80	0.750	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
81	0.750	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
82	0.750	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	68.3 %
83	0.750	---	Smukłość	0.0 %
84	0.750	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	68.3 %
85	0.750	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
86	0.750	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
87	0.750	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	35.4 %
88	0.750	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
89	0.750	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	35.4 %
90	0.750	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	68.3 %
91	0.833	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
92	0.833	min Mx	Ściananie	57.7 %
93	0.833	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
94	0.833	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
95	0.833	min Ty	Ściananie	57.7 %
96	0.833	---	Smukłość	0.0 %
97	0.833	max N	Ściananie	57.7 %
98	0.833	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
99	0.833	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
100	0.833	max Ty	Ściananie	29.9 %

101	0.833	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
102	0.833	min N	Ścinanie	29.9 %
103	0.833	max Mx	Ścinanie	29.9 %
104	1.000	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	66.5 %
105	1.000	min Mx	Ścinanie	83.2 %
106	1.000	max N_SGU	Rysy prostopadłe	66.5 %
107	1.000	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	56.4 %
108	1.000	min Ty	Ścinanie	83.2 %
109	1.000	---	Smukłość	0.0 %
110	1.000	max N	Ścinanie	83.2 %
111	1.000	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	56.4 %
112	1.000	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	66.5 %
113	1.000	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	72.5 %
114	1.000	min N_SGU	Rysy prostopadłe	56.4 %
115	1.000	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	72.5 %
116	1.000	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	72.5 %
117	0.480	max v	Ugięcia	10.3 %

## Wyniki szczegółowe

### Zbrojenie minimalne (0.0 %)

Przekrój:  $x/L=0.750$ ,  $L=3.09m$ ; Kombinacja: max Mx (+1,+2,+9,)

Zbrojenie minimalne przy zginaniu bez udziału siły podłużnej dla przekroju prostokątnego oraz teowego z półką w strefie ściskanej:

$$A_{s1,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} bd = 0.26 \frac{2.2}{500.0} 30.0 \cdot 70.2 = 2.4 \text{cm}^2 < 12.6 \text{cm}^2$$

$$A_{s1,min} = 0.0013bd = 0.0013 \cdot 30.0 \cdot 70.2 = 2.7 \text{cm}^2 < 12.6 \text{cm}^2$$

### Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto wg Rysunku 5.7

Klasyfikacja: X-X → Element wydzielony obustronnie przegubowo podparty; Y-Y → Element wydzielony obustronnie przegubowo podparty

Przyjęto:  $\beta_x = 1.000$   $\beta_y = 1.000$  oraz  $l_{col} = 4.120m$

### Zbrojenie główne (75.1 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=4.12m$ ; Kombinacja: max N (+1,+2,+9,)

Dane:  $\alpha_{cc} = 1.00$ ,  $x_{eff} = 23.1\text{cm}$ ,  $a_1 = 5.5\text{cm}$ ,  $d = 69.2\text{cm}$

Nośność przy ściskaniu/rozciąganiu:

$$\min N_{Rd} = -4358.6\text{kN} < 0.0\text{kN} = N_{Sd}$$

$$\max N_{Rd} = 294.1\text{kN} > 0.0\text{kN} = N_{Sd}$$

Nośność przy zginaniu:

$$M_{Rd} = 459.1\text{kNm} > 345.0\text{kNm} = M_{Sd}$$

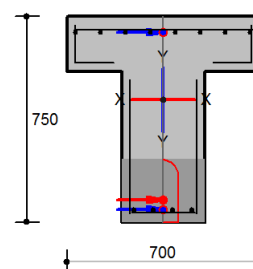
Odształcenia:

$$\varepsilon_{s1} = -0.00172 > -0.0100$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.00087 < 0.0035$$

$$\varepsilon_c = -0.00033 < 0.0020$$

$x/L=1.000$  (max N)



### Zbrojenie główne (ściananie) (79.2 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=4.12\text{m}$ ; Kombinacja: max N (+1,+2,+9,)

Siły przekrojowe:  $N_{Ed} = 0.0\text{kN}$ ,  $M_{Ed} = 345.0\text{kNm}$ ,  $V_{Ed} = 554.9\text{kN}$

Przyrost siły w zbrojeniu głównym:  $\Delta F_{td} = 0.5V_{Ed}\cot\theta = 0.5 \cdot 554.9 \cdot 1.500 = 416.2\text{kN}$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:  $F_{td} = \varepsilon_{s1}A_{s1}E_s = 0.00172 \cdot 16.09 \cdot 20000.0 = 554.2\text{kN}$

Maksymalna siła w zbr. rozciągającym na długości elementu:  $\max F_{td} = 554.2\text{kN}$

Warunek nośności:  $\min(F_{td} + \Delta F_{td}, \max F_{td}) = 554.2\text{kN} < 699.4\text{kN} = A_{s1}f_{yd} = 16.09 \cdot 43.5$

### Ściananie (83.2 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=4.12\text{m}$ ; Kombinacja: max N (+1,+2,+9,)

Weryfikacja zbrojenia strzemionami dla siły tnącej: Y-Y

Pochylenie betonowych krzyżulców:  $\cot\theta = 1.500$

Nośność obliczeniowa ze względu na rozciąganie strzemion:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd1} \cot\theta = \frac{2.72}{10.0} 61.1 \cdot 43.5 \cdot 1.500 = 1084.1\text{kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- A_{sw} = \min\left(A_{sw}, \frac{0.5\alpha_{cc}v f_{cd} b_w s}{f_{ywd}}\right) = \min(314.16, 272.06) = 2.72\text{cm}^2$$

Nośność obliczeniowa ze względu na ściskanie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1.000 \cdot 30.0 \cdot 61.1 \cdot 0.552 \cdot 1.43}{\cot 33.7 + \tan 33.7} = 667.2\text{kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- v_1 = v = 0.6(1 - f_{ck}/250) = 0.6(1 - 20.0/250) = 0.552$$

Warunki nośności:

$$V_{Rd,s} = 1084.1\text{kN} > 554.9\text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 667.2\text{kN} > 554.9\text{kN}$$

Weryfikacja zbrojenia strzemionami dla siły tnącej: X-X

Pochylenie betonowych krzyżulców:  $\cot\theta = 1.500$

Nośność obliczeniowa ze względu na rozciąganie strzemion:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd1} \cot\theta = \frac{1.57}{10.0} 31.0 \cdot 43.5 \cdot 1.500 = 317.6\text{kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- A_{sw} = \min\left(A_{sw}, \frac{0.5\alpha_{cc}v f_{cd} b_w s}{f_{ywd}}\right) = \min(157.08, 181.37) = 1.57\text{cm}^2$$

Nośność obliczeniowa ze względu na ściskanie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1.000 \cdot 20.0 \cdot 31.0 \cdot 0.552 \cdot 1.43}{\cot 33.7 + \tan 33.7} = 225.7\text{kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- v_1 = v = 0.6(1 - f_{ck}/250) = 0.6(1 - 20.0/250) = 0.552$$

Warunki nośności:

$$V_{Rd,s} = 317.6\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

$$V_{Rd,max} = 225.7\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

### Rysy prostopadłe (66.5 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=4.12\text{m}$ ; Kombinacja: min  $M_{x\_SGU}$  (1,2,S9,)

Stosunek naprężeń rysujących do aktualnych:

$$\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} = \frac{M_{cr}}{M_{Ed}} = \frac{f_{ct,eff} W_c}{M_{Ed}} = \frac{2.2 \cdot 0.0525}{199.7} = 0.578$$

Maksymalny rozstaw rys:

$$S_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.500 \cdot 0.425 \frac{16.0}{0.0156} = 276.0 \text{ mm}$$

gdzie przyjęto:

- $k_1 = 0.8$  (pręty żebrowane),  $k_2 = 0.500$  (ściskanie lub/i zginanie),
- efektywny stopień zbrojenia:  $\rho_r = A_s / A_{c,eff} = 16.1 / 1029.0 = 0.0156$

Różnica średniego odkształcenia zbrojenia rozciąganego i betonu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_{et} \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{206.7 - 0.4 \cdot \frac{2.2}{0.0156} (1 + 6.67 \cdot 0.0156)}{200000.0} = 0.000723$$

gdzie przyjęto:

- $k_t = 0.4$  (obc. długotrwałe),

Obliczeniowa szerokość rys prostopadłych do osi elementu:

$$w_k = S_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 276.0 \cdot 0.000723 = 0.20 \text{ mm} < 0.30 \text{ mm} = w_{k,lim.}$$

## Ugięcia (10.3 %)

Przekrój:  $x/L=0.480$ ,  $L=1.98\text{m}$ ; Kombinacja:  $\max v (1,2,S9)$

Obciążenia: tylko część długotrwałe; schemat statyczny elementu: belka wolnopodparta

Efektywny moduł sprężystości betonu:  $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_0)} = \frac{30000.0}{1 + 2.000} = 10000.0 \text{ MPa}$

Maksymalne ugięcie uzyskano poprzez całkowanie równania linii ugięcia belki z uwzględnieniem pełzania, zarysowania i rzeczywistego rozkładu zbrojenia oraz przebiegu momentów. Sztywność elementu niezarysowanego przyjęto równą  $B_\infty = E_{c,eff} I_I$  lub  $B_0 = E_{cm} I_I$  odpowiednio przy obciążeniu długotrwałym i krótkotrwałym, natomiast sztywność przekrojów zarysowanych wyznaczono wg wzoru:

$$B_\infty = \frac{E_{c,eff} I_I}{1 - \beta \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \left( 1 - \frac{I_I}{I_{II}} \right)}$$

gdzie w przypadku  $B_0$  przyjęto  $E_{c,eff} = E_{cm}$ .

Warunek projektowy (kierunek Y-Y):  $a = 2.1 \text{ mm} < 20.6 \text{ mm} = a_{lim.}$

## Pręt nr 1 - Element żelbetowy wg PN-EN 1992-1-1:2004

### Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 0 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 2 ( $x=4.000\text{m}$ ,  $y=0.000\text{m}$ ); 3 ( $x=8.000\text{m}$ ,  $y=0.000\text{m}$ )

Profil: Podciąg (C20/25)

### Zbrojenie podłużne (RB500W (A))

Krawędź 1 - 4 $\phi$ 20; od  $L1=0.00\text{m}$  do  $L2=4.00\text{m}$ ; lbd1=5.02m; lbd2=0.90m

Krawędź 6 - 8 $\phi$ 16; od  $L1=0.00\text{m}$  do  $L2=4.00\text{m}$ ; lbd1=2.06m; lbd2=1.10m

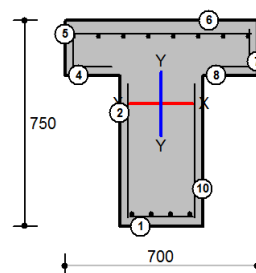
### Strzemiona (RB500W (A))

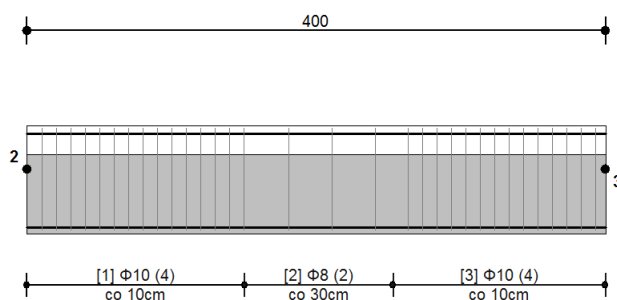
Odcinek 1 od  $x1/L=0.00$  do  $x2/L=0.38$ : (Y-Y) 4 $\phi$ 10 (X-X) 2 $\phi$ 10 co 10cm

Odcinek 2 od  $x1/L=0.38$  do  $x2/L=0.63$ : (Y-Y) 2 $\phi$ 8 (X-X) 2 $\phi$ 8 co 30cm

Odcinek 3 od  $x1/L=0.63$  do  $x2/L=1.00$ : (Y-Y) 4 $\phi$ 10 (X-X) 2 $\phi$ 10 co 10cm

### Widok elementu



**Całkowite wyężenie elementu: 79%**

Zbrojenie główne: 75 %  
 Ścinanie: 75 %  
 Zbrojenie główne (ściananie): 79 %  
 Rysy prostopadłe: 66 %  
 Ugięcia: 6 %  
 Zbrojenie minimalne: 0 %  
 Zbrojenie minimalne (rysy): 0 %  
 Zakotwienie zbrojenia: 0 %  
 Rozstaw strzemion: 0 %  
 Zbrojenie min. strzemionami: 0 %  
 Smukłość: 0 %

## Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiedni a	Warunek	Wyężenie
0	0.000	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	55.9 %
1	0.000	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
2	0.000	max N_SGU	Rysy prostopadłe	66.0 %
3	0.000	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	55.9 %
4	0.000	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	69.2 %
5	0.000	---	Smukłość	0.0 %
6	0.000	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
7	0.000	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	66.0 %
8	0.000	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	66.0 %
9	0.000	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
10	0.000	min N_SGU	Rysy prostopadłe	55.9 %

11	0.000	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	69.2 %
12	0.000	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	69.2 %
13	0.167	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
14	0.167	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	51.0 %
15	0.167	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
16	0.167	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
17	0.167	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	26.5 %
18	0.167	---	Smukłość	0.0 %
19	0.167	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	51.0 %
20	0.167	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
21	0.167	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
22	0.167	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	51.0 %
23	0.167	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
24	0.167	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	26.5 %
25	0.167	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	26.5 %
26	0.333	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
27	0.333	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	25.4 %
28	0.333	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
29	0.333	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
30	0.333	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	25.4 %
31	0.333	---	Smukłość	0.0 %
32	0.333	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
33	0.333	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
34	0.333	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
35	0.333	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
36	0.333	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
37	0.333	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	25.4 %
38	0.333	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
39	0.500	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	23.2 %
40	0.500	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	23.0 %
41	0.500	max N_SGU	Rysy prostopadłe	27.1 %
42	0.500	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	27.1 %
43	0.500	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	23.0 %
44	0.500	---	Smukłość	0.0 %
45	0.500	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
46	0.500	max	Rysy prostopadłe	27.1 %

		Ty_SGU		
47	0.500	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	23.2 %
48	0.500	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
49	0.500	min N_SGU	Rysy prostopadłe	23.2 %
50	0.500	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	23.0 %
51	0.500	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
52	0.667	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
53	0.667	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	26.7 %
54	0.667	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
55	0.667	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
56	0.667	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
57	0.667	---	Smukłość	0.0 %
58	0.667	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
59	0.667	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
60	0.667	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
61	0.667	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	26.7 %
62	0.667	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
63	0.667	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	26.7 %
64	0.667	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	44.1 %
65	0.833	min Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
66	0.833	min Mx	Ścinanie	49.0 %
67	0.833	max N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
68	0.833	max Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
69	0.833	min Ty	Ścinanie	49.0 %
70	0.833	---	Smukłość	0.0 %
71	0.833	max N	Ścinanie	49.0 %
72	0.833	max Ty_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
73	0.833	min Mx_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
74	0.833	max Ty	Ścinanie	25.2 %
75	0.833	min N_SGU	Zbrojenie minimalne (rysy)	0.0 %
76	0.833	min N	Ścinanie	25.2 %
77	0.833	max Mx	Ścinanie	25.2 %
78	1.000	min Ty_SGU	Rysy prostopadłe	62.0 %
79	1.000	min Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
80	1.000	max N_SGU	Rysy prostopadłe	62.0 %

81	1.000	max Mx_SGU	Rysy prostopadłe	52.2 %
82	1.000	min Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
83	1.000	---	Smukłość	0.0 %
84	1.000	max N	Zbrojenie główne (ściananie)	78.9 %
85	1.000	max Ty_SGU	Rysy prostopadłe	52.2 %
86	1.000	min Mx_SGU	Rysy prostopadłe	62.0 %
87	1.000	max Ty	Zbrojenie główne (ściananie)	66.3 %
88	1.000	min N_SGU	Rysy prostopadłe	52.2 %
89	1.000	min N	Zbrojenie główne (ściananie)	66.3 %
90	1.000	max Mx	Zbrojenie główne (ściananie)	66.3 %
91	0.490	max v	Ugięcia	5.5 %

## Wyniki szczegółowe

### Zbrojenie minimalne ze względu na rysy

Minimalne (sumaryczne) pole zbrojenia ze względu na rysy:

$$A_{s,min} = k_c k_{f,ct,eff} \frac{A_{ct}}{\sigma_{s,lim}} = \frac{0.400 \cdot 1.0 \cdot 0.22 \cdot 1377.0}{24.0} = 5.0 \text{ cm}^2 < 12.6 \text{ cm}^2 = A_{s1}$$

Uwaga! Zbrojenie  $A_{s,min}$  zostało obliczone dla całego przekroju. W przypadku profilowanych przekrojów poprzecznych jak belki teowe i dźwigary skrzynkowe należy dodatkowo ustalić zbrojenie minimalne dla poszczególnych części przekroju (średników, półek) → EN 1992-1-1:2004 7.3.2(2).

### Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto wg Rysunku 5.7

Klasyfikacja: X-X → Element wydzielony obustronnie przegubowo podparty; Y-Y → Element wydzielony obustronnie przegubowo podparty

Przyjęto:  $\beta_x = 1.000$   $\beta_y = 1.000$  oraz  $l_{col} = 4.000 \text{ m}$

### Zbrojenie główne (74.9 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja: max Ty (+1,+2,+9,)

Dane:  $\alpha_{cc} = 1.00$ ,  $x_{eff} = 23.1 \text{ cm}$ ,  $a_1 = 5.5 \text{ cm}$ ,  $d = 69.2 \text{ cm}$

Nośność przy ściskaniu/rozciąganiu:

$$\min N_{Rd} = -4366.1 \text{ kN} < 0.9 \text{ kN} = N_{Sd}$$

$$\max N_{Rd} = 298.1 \text{ kN} > 0.9 \text{ kN} = N_{Sd}$$

Nośność przy zginaniu:

$$M_{Rd} = 458.8 \text{ kNm} > 343.4 \text{ kNm} = M_{Sd}$$

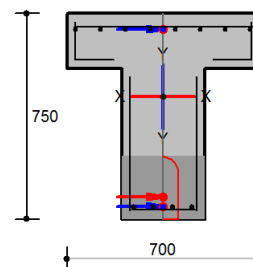
Odształcenia:

$$\varepsilon_{s1} = -0.00172 > -0.0100$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.00086 < 0.0035$$

$$\varepsilon_c = -0.00033 < 0.0020$$

$x/L=0.000$  (max Ty)



### Zbrojenie główne (ściananie) (78.9 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=4.00 \text{ m}$ ; Kombinacja: max N (+1,+2,+9,)

Siły przekrojowe:  $N_{Ed} = 0.9 \text{ kN}$ ,  $M_{Ed} = 330.0 \text{ kNm}$ ,  $V_{Ed} = 492.3 \text{ kN}$

Przyrost siły w zbrojeniu głównym:  $\Delta F_{td} = 0.5 V_{Ed} \cot \theta = 0.5 \cdot 492.3 \cdot 1.500 = 369.2 \text{ kN}$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:  $F_{td} = \varepsilon_{s1} A_{s1} E_s = 0.00165 \cdot 16.09 \cdot 20000.0 = 531.0 \text{ kN}$

Maksymalna siła w zbr. rozciągającym na długości elementu:  $\max F_{td} = 552.1 \text{ kN}$

Warunek nośności:  $\min(F_{td} + \Delta F_{td}, \max F_{td}) = 552.1 \text{ kN} < 699.4 \text{ kN} = A_{s1} f_{yd} = 16.09 \cdot 43.5$

### Ścinanie (74.8 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\max Ty (+1, +2, +9)$

Weryfikacja zbrojenia strzemionami dla siły tnącej: Y-Y

Pochylenie betonowych krzyżulców:  $\cot\theta = 1.500$

Nośność obliczeniowa ze względu na rozciąganie strzemion:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd1} \cot\theta = \frac{2.72}{10.0} 61.1 \cdot 43.5 \cdot 1.500 = 1084.3 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- A_{sw} = \min\left(A_{sw}, \frac{0.5 \alpha_{cc} v f_{cd} b_w s}{f_{ywd}}\right) = \min(314.16, 272.06) = 2.72 \text{ cm}^2$$

Nośność obliczeniowa ze względu na ściskanie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1.000 \cdot 30.0 \cdot 61.1 \cdot 0.552 \cdot 1.43}{\cot 33.7 + \tan 33.7} = 667.3 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- v_1 = v = 0.6(1 - f_{ck}/250) = 0.6(1 - 20.0/250) = 0.552$$

Warunki nośności:

$$V_{Rd,s} = 1084.3 \text{ kN} > 499.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 667.3 \text{ kN} > 499.0 \text{ kN}$$

Weryfikacja zbrojenia strzemionami dla siły tnącej: X-X

Pochylenie betonowych krzyżulców:  $\cot\theta = 1.500$

Nośność obliczeniowa ze względu na rozciąganie strzemion:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd1} \cot\theta = \frac{1.57}{10.0} 31.0 \cdot 43.5 \cdot 1.500 = 317.6 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- A_{sw} = \min\left(A_{sw}, \frac{0.5 \alpha_{cc} v f_{cd} b_w s}{f_{ywd}}\right) = \min(157.08, 181.37) = 1.57 \text{ cm}^2$$

Nośność obliczeniowa ze względu na ściskanie betonowych krzyżulców:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} = \frac{1.000 \cdot 20.0 \cdot 31.0 \cdot 0.552 \cdot 1.43}{\cot 33.7 + \tan 33.7} = 225.7 \text{ kN}$$

gdzie przyjęto:

$$- v_1 = v = 0.6(1 - f_{ck}/250) = 0.6(1 - 20.0/250) = 0.552$$

Warunki nośności:

$$V_{Rd,s} = 317.6 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} = 225.7 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

### Rysy prostopadłe (66.0 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min Mx\_SGU (1, 2, S9)$

Stosunek naprężeń rysujących do aktualnych:

$$\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} = \frac{N_{cr}}{N_{Ed}} = \frac{f_{ct,eff}}{e/W_c + 1/A_c N_{Sd}} \frac{1}{1} = \frac{2.2}{374.1782/0.0525 + 1/0.3114} \frac{1}{0.5} = 0.581$$

Maksymalny rozstaw rys:

$$S_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3.4 \cdot 30 + 0.8 \cdot 0.500 \cdot 0.425 \frac{16.0}{0.0156} = 276.0 \text{ mm}$$

gdzie przyjęto:

$$- k_1 = 0.8 \text{ (pręty żebrowane)}, k_2 = 0.500 \text{ (ściskanie lub/i zginanie)},$$

$$- \text{efektywny stopień zbrojenia: } \rho_r = A_s/A_{c,eff} = 16.1/1029.0 = 0.0156$$

Różnica średniego odkształcenia zbrojenia rozciąganego i betonu:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_{et} \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{205.7 - 0.4 \frac{2.2}{0.0156} (1 + 6.67 \cdot 0.0156)}{200000.0} = 0.000718$$

gdzie przyjęto:

$$- k_t = 0.4 \text{ (obc. długotrwałe)},$$

Obliczeniowa szerokość rys prostopadłych do osi elementu:

$$w_k = S_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 276.0 \cdot 0.000718 = 0.20 \text{ mm} < 0.30 \text{ mm} = w_{k,lim.}$$

### Ugięcia (5.5 %)

Przekrój:  $x/L=0.490$ ,  $L=1.96 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\max v (1, 2, S9)$

Obciążenia: tylko część długotrwała; schemat statyczny elementu: nieokreślony

Efektywny moduł sprężystości betonu:  $E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1+\phi(t,t_0)} = \frac{30000.0}{1+2.000} = 10000.0\text{MPa}$

Maksymalne ugięcie uzyskano poprzez całkowanie równania linii ugięcia belki z uwzględnieniem pełzania, zarysowania i rzeczywistego rozkładu zbrojenia oraz przebiegu momentów. Sztywność elementu niezarysowanego przyjęto równą  $B_\infty = E_{c,eff}J_I$  lub  $B_0 = E_{cm}J_I$  odpowiednio przy obciążeniu długotrwałym i krótkotrwałym, natomiast sztywność przekrojów zarysowanych wyznaczono wg wzoru:

$$B_\infty = \frac{E_{c,eff}J_I}{1-\beta\left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s}\right)^2\left(1-\frac{J_I}{J_{II}}\right)},$$

gdzie w przypadku  $B_0$  przyjęto  $E_{c,eff} = E_{cm}$ .

Warunek projektowy (kierunek Y-Y):  $a = 1.1\text{ mm} < 20.0\text{ mm} = a_{lim}$ .